

多种养殖模式池塘生物群落比较研究

吴琪, 魏杰, 赵文*, 刘钢, 张鹏, 尹东鹏

大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁省水生生物学重点实验室, 辽宁 大连

收稿日期: 2024年4月26日; 录用日期: 2024年6月19日; 发布日期: 2024年6月27日

摘要

本文对无地膜对虾养殖模式、有地膜对虾养殖模式、鱼虾混养模式、纯养鱼模式四种养殖模式的5个池塘在池塘养殖中后期的水质理化特征及浮游植物和浮游动物群落结构进行了调查, 并对四种养殖模式的水质和浮游生物状况进行了总结。结果表明, 从水质理化特征来看, 两种对虾养殖模式中有地膜对虾养殖模式pH、溶氧和水温控制得当, 三氮一磷处于高水平; 鱼虾混养模式pH呈现高水平状态; 纯养鱼模式呈现透明度高、溶氧高、温度低、pH低和三氮一磷低的特点; 从浮游生物群落结构来看, 浮游植物在种类上均以咸淡水种类为主, 浮游动物以盐水种类为主, 养殖中期, 两种对虾养殖模式和鱼虾混养模式蓝藻均为优势种, 而纯养鱼模式硅藻占绝对优势, 浮游动物优势种中原生动物和轮虫占绝对优势, 表明浮游动物普遍存在小型化, 其中无地膜对虾养殖模式和纯养鱼模式桡足类占据一定优势, 表明池塘生态稳定性较好。综合上述结果, 本文提出了控制水质、控制蓝藻和减少浮游动物小型化的措施, 以期能为完善现有的养殖模式, 提高池塘养殖的综合经济效益, 实现可持续发展提供一定的数据支持和科学参考。

关键词

无地膜对虾养殖模式, 有地膜对虾养殖模式, 鱼虾混养模式, 纯养鱼模式, 生物群落

A Comparative Study on the Biological Communities of Ponds with Different Culture Modes

Qi Wu, Jie Wei, Wen Zhao*, Gang Liu, Peng Zhang, Dongpeng Yin

Key Laboratory of Aquatic Biology of Liaoning Province, College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian Liaoning

Received: Apr. 26th, 2024; accepted: Jun. 19th, 2024; published: Jun. 27th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 吴琪, 魏杰, 赵文, 刘钢, 张鹏, 尹东鹏. 多种养殖模式池塘生物群落比较研究[J]. 海洋科学前沿, 2024, 11(2): 59-76. DOI: 10.12677/ams.2024.112007

Abstract

In this paper, the water quality physicochemical characteristics and community structure of phytoplankton and zooplankton in 5 ponds with four culture modes of shrimp without mulching film, shrimp with mulching film, mixed culture with fish and shrimp, and pure fish culture were investigated in the middle and late stage of pond culture. The results showed that from the physicochemical characteristics of water quality, pH, dissolved oxygen and water temperature were properly controlled in the mulch shrimp culture mode, and TRN and P were at a high level. The pH of fish and shrimp mixed culture was high. The pure fish culture model showed the characteristics of high transparency, high dissolved oxygen, low temperature, low pH and low nitrogen and phosphorus. From the perspective of plankton community structure, the species of phytoplankton are mainly brackish-water species, and the species of zooplankton are mainly saltwater species. In the middle period of culture, the two shrimp culture modes and the fish-shrimp mixed culture mode cyanobacteria are dominant species, while the pure fish culture mode diatom is absolutely dominant, and the protozoa and rotifer are absolutely dominant in the dominant zooplankton species, indicating that the miniaturization of zooplankton is widespread. The copepods in shrimp culture mode without mulching film and fish culture mode are dominant, which indicates that the ecological stability of the pond is good. Based on the above results, this paper proposes measures to control water quality, control cyanobacteria and reduce the miniaturization of zooplankton, in order to provide certain data support and scientific reference for improving the existing aquaculture model, improving the comprehensive economic benefits of pond aquaculture and realizing sustainable development.

Keywords

Prawn Culture Mode without Mulching Film, Shrimp Culture Mode with Mulched Film, Fish-Shrimp Mixed Culture Model, Pure Fish Culture Mode, Biome

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)又称南美白对虾,原产于南美,1988年引进中国,因其具有含肉率高、抗逆性强、生长快、适盐性广等特点,迅速成为中国最重要的对虾养殖品种之一,占中国对虾养殖总产量的80%左右[1]。对虾地膜养殖模式是对虾精养模式的一种,自1998年对虾地膜养殖模式在国内首次建立以来,由于该模式具有保水性好、铺设操作便捷、清塘方便、晒塘时间短、池底无土质不易老化、可彻底清除池塘内的病原微生物及其宿主、排污方便、使用寿命长且易修补等优点,目前已经得到了大面积的推广应用,成为目前我国南方最主要的精养模式[2]-[4]。

金鲳又称卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*),地方名称黄腊鲳,金鲳为近年来南方地区普遍养殖的海水鱼类,由于此种鱼类的肉质鲜美,成长迅速,容易捕抓,个体间的生长较为一致,对池塘环境的适应力强,已经成为南方地区重要养殖品种。广东省是金鲳的主要产区之一,该省已逐步形成以网箱(深水、传统木排网箱)为主、池塘(高位池塘)为辅的主要养殖模式[5][6]。

由于水产养殖行业的飞速发展、养殖规模不断扩大及养殖密度的持续增加,使水环境不断恶化,对生态环境和自身都造成严重破坏[7][8]。我国的水产养殖正逐步向绿色化发展,目前水产养殖模式已从单

一生物演变为复合多物种养殖模式,充分利用有限的养殖空间[9],合理利用各项技术[10],进一步提高水产养殖水平,推动水产养殖行业的发展,实现更大的经济效益和生态效益[11]。因此,优化养殖模式已经成为必然趋势[12]。池塘水质直接影响养殖生物的性能,对池塘生态系统的物质循环和能量流动起着重要作用[13],水质的优劣受水中生物、水量、饵料和生物代谢废物等综合因素的影响[14]。浮游生物的变化特征与环境因子密切相关,其群落结构特征在一定程度上反映出池塘生态环境状况[15][16]。可见保持水环境稳定、有效管理水质是对虾和金鲳健康生长的关键。为此,本文采用野外调查的方法,比较分析了广东省徐闻县4种养殖模式(无地膜对虾养殖模式、有地膜对虾养殖模式、鱼虾混养模式和纯养鱼模式)池塘的水质理化特征及浮游植物和浮游动物群落结构特征,旨在为进一步优化现有养殖模式和池塘水质管理提供科学养殖提供理论数据,为水产养殖业的健康可持续发展提供参考。

2. 材料和方法

2.1. 采样时间与样站的设置

共计调查两次。于2021年5月12日进行第一次养殖中期调查,包括4种养殖模式共计5个池塘,1号池塘为全部养殖南美白对虾池塘(纯养虾无地膜养殖模式),2号池塘为高位池同样全部养殖南美白对虾(纯养虾有地膜养殖模式),3号池塘和4号池塘均为南美白对虾和金鲳鱼混养池塘(鱼虾混养模式),5号池塘为全部养殖金鲳鱼池塘(纯养鱼模式)。于2021年6月30日进行了第二次养殖后期调查,对2种养殖模式(纯养虾无地膜养殖模式和鱼虾混养模式)共计3个池塘(1号池塘、3号池塘和4号池塘)进行了浮游生物调查。调查范围及池塘样站位置如图1所示,池塘经纬度如表1所示。

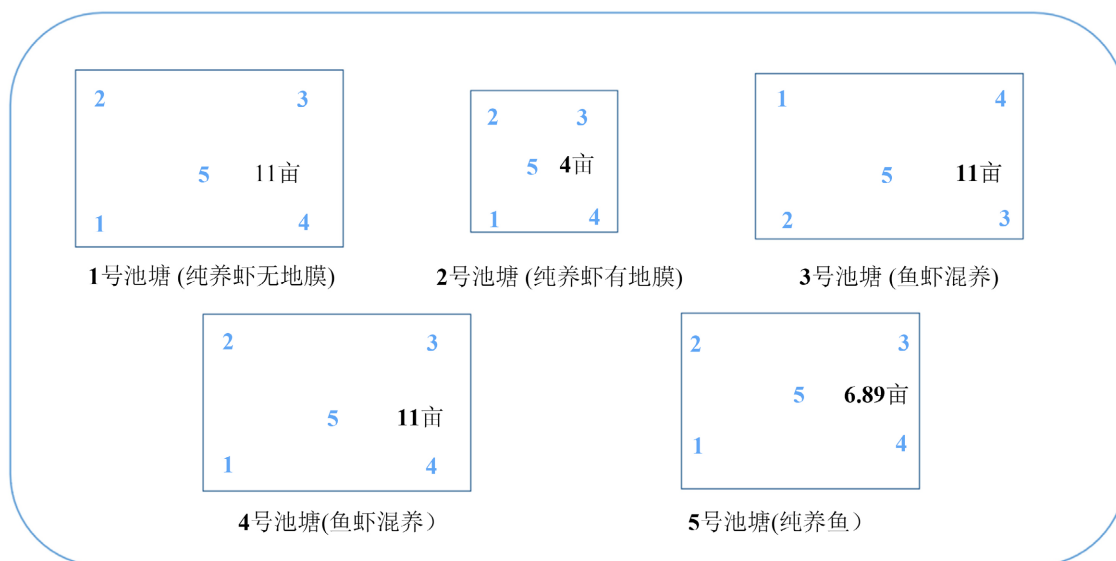


Figure 1. Setting of sample station in different aquaculture pond models

图 1. 不同养殖池塘模型样本站的设置

Table 1. Latitude and longitude of different aquaculture pond models

表 1. 不同养殖池塘模型的经纬度

池塘	N	E
1号池塘	20.641020°	110.398784°
2号池塘	20.637343°	110.390528°
3号池塘	20.631768°	110.391374°

续表

4 号池塘	20.640392°	110.399113°
5 号池塘	20.641022°	110.398816°

2.2. 样品采集及测定分析

第一次养殖中期调查, 在 5 个池塘的四周离岸 1 m 处和池塘中央各选 1 个采样点, 即每个池塘布设 5 个采样点, 均测定盐度、温度、水深、pH、溶解氧和透明度, 同时用水生 80 型采水器分别在每个采样点采集 5 L 水样, 装置同一容器充分混合, 用于氮磷指标测定和浮游生物定性与定量分析。第二次养殖后期调查, 仅进行浮游植物和浮游动物水样采集。

水样采集: 取 2.5 L 混合水样装入塑料桶中; 浮游植物采集: 取 1 L 混合水样装入塑料瓶中, 加 15 mL 的鲁哥氏液(Lugel's)固定; 浮游动物采集: 取 20 L 混合水样, 经 25# (300 目)浮游生物网过滤后, 装入 100 mL 塑料瓶中, 用 5% 甲醛溶液固定。上述水样和生物样分别于室内进行氮磷指标测定[17], 以及浮游生物定性和定量分析[15] [16] [18]-[24], 水质测定方法如表 2 所示。

Table 2. Water quality index and determination methods

表 2. 水质指标与测定方法

监测指标	分析方法
盐度、温度、pH、溶氧(DO)	HQ2200 哈希便携式多参数水质分析仪
透明度(SD)	萨氏盘
氨氮(NH ₄ -N)	纳氏试剂光度法
亚硝酸氮(NO ₂ -N)	N-(1-萘基)-乙二胺光度法
硝酸氮(NO ₃ -N)	锌 - 镉还原法
活性磷酸盐(PO ₄ -P、P ₂ O ₅)	钼锑抗分光光度法

实验数据采用 Excel 软件进行处理。浮游植物和浮游动物多样性指数(Shannon-Wiener 指数)、均匀度指数(J)、优势度(Y)计算参照《水生生物学》[18]进行计算。

1) Shannon-Wiener 多样性指数(H'):

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中, H' 为多样性指数, P_i 是浮游植物总种数中第 i 种的个体数与该群落观察到的总个体数 N 的比值, S 为总种数; H' 变动在零与任何正数之间。群落中当全部个体属于一个物种时, $H' = 0$; 全部个体属于不同种时, H' 值最大。

2) 均匀度指数(J):

$$J = H' / \log_2 S$$

式中: H' 为多样性指数; S 为总种数。

3) 优势度(Y):

$$Y = \frac{n_i}{N} \times f_i$$

式中: n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种类的总个体数, f_i 为第 i 种的出现频率。以 $Y > 0.02$ 的种类为优势种。

3. 结果

3.1. 多种养殖模式池塘水质理化特征及其分布

调查期间多种养殖模式水质理化特征情况如表 3 所示。两种对虾养殖模式比较, 1 号池塘无地膜对虾养殖模式透明度、温度、pH 和溶解氧均呈现较高, 而氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮、硝酸氮和有效磷呈现较低的特点; 2 号池塘有地膜对虾养殖模式则与此相反, 透明度、温度、pH 和溶解氧均呈现较低, 三氮一磷呈现显著增高的特点。鱼虾混养模式比较, 3 号池塘透明度、温度、pH、溶解氧、氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮和有效磷均呈现较高的特点, 4 号池塘理化指标均低于 3 号池塘, 调查期间鱼虾混养模式的两个池塘 pH 均呈现高水平状态。纯养鱼养殖模式(5 号池塘), 整体上氮磷指标低于对虾养殖模式和鱼虾混养模式, pH 和溶解氧低, 而透明度适中。

Table 3. Seasonal dynamics of water depth in different aquaculture pond models

表 3. 不同养殖池塘模型中水深的季节动态

池塘	样站	盐度	水深 cm	温度 ℃	pH	溶解氧 mg/L	透明度 cm	氨氮 mg/L	硝酸氮 mg/L	亚硝酸氮 mg/L	有效磷 mg/L
1 号	1	5	148	32	7.97	7.52	52				
	2	5	148	32	8.39	7.8	55				
	3	5	148	32.1	8.40	7.6	50	0.021	0.035	0.119	0.125
	4	5	148	32.1	8.43	8.0	51				
	5	5	148	32.3	8.55	7.3	50				
2 号	1	15	166	31.6	7.36	6.2	42				
	2	15	166	31.3	7.26	6.5	42				
	3	15	160	30.9	7.28	6.4	46	0.052	0.380	0.430	1.868
	4	15	160	31.2	7.41	6.7	45				
	5	15	160	32	7.30	5.7	43				
3 号	1	6	154	32.3	9.02	11.5	50				
	2	6	154	32.8	9.27	12.7	52				
	3	6	154	32.3	9.23	12.7	49	0.016	0.058	0.176	0.579
	4	6	154	32.0	9.24	12.7	54				
	5	6	154	32.0	9.32	12.9	50				
4 号	1	0	140	32.6	8.33	10.3	0				
	2	0	140	32.2	8.7	10.2	0				
	3	0	140	34	9.4	10.3	0	0.012	0.028	0.114	0.098
	4	0	140	32.8	8.9	10.6	0				
	5	0	140	32.5	8.99	9.6	0				
5 号	1	5	155	32.1	7.99	5.8	39				
	2	5	155	32.1	8.04	6.0	60				
	3	5	155	31.4	8.04	5.7	50	0.012	0.030	0.115	0.025
	4	5	155	31.7	8.05	4.3	54				
	5	5	155	31.2	8.23	5.8	53				

3.2. 多种养殖模式池塘浮游植物的群落结构

3.2.1. 浮游植物种类组成及分布

各个池塘浮游植物组成及分布见表4。第一次调查期间(养殖中期),5个池塘共鉴定出43种浮游植物,其中蓝藻门12种,硅藻门13种,金藻门2种,甲藻门4种,隐藻门2种,裸藻门2种,绿藻门8种。其中1号池塘(对虾无地膜)7种,主要为蓝藻和硅藻;2号池塘(对虾有地膜)16种,主要为绿藻和蓝藻;3号池塘(鱼虾混养)22种,主要为绿藻、蓝藻和硅藻;4号池塘(鱼虾混养)13种,主要为蓝藻和绿藻;5号池塘(纯养鱼)13种,主要为硅藻。

第二次调查期间(养殖后期)3个池塘共鉴定出17种浮游植物,蓝藻门4种,硅藻门5种,金藻门1种,甲藻门1种,隐藻门1种,裸藻门1种,绿藻门4种。其中1号池塘(对虾有地膜)4种,主要为硅藻;3号池塘(鱼虾混养)8种,主要为硅藻;4号池塘(鱼虾混养)11种,主要为蓝藻。

Table 4. The species composition and distributions of phytoplankton in different aquaculture pond models

表 4. 不同养殖池塘模式浮游植物的种类组成及分布

种类	拉丁名	2021.5.12					2021.06.30		
		1号池塘	2号池塘	3号池塘	4号池塘	5号池塘	1号池塘	3号池塘	4号池塘
蓝藻门	Cyanophyta								
针晶蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis raphidioides</i>				+				
针状蓝纤维藻	<i>Dactylococcopsis acicularis</i>				+			+	
细小平裂藻	<i>Merismopedia minima</i>	+		+	+				
点状粘球藻	<i>Gloeocapsa punctata</i>	+							
小型色球藻	<i>Chroococcus minor</i>			+	+			+	
湖沼色球藻	<i>Chroococcus limneticus</i>					+			
膨胀色球藻	<i>Chroococcus turgidus</i>		+						
小细鞘丝藻	<i>Peptolyngbya tenuis</i>	+	+				+	+	
链状伪鱼腥藻	<i>Pseudanabaena catenata</i>	+	+	+					+
小颤藻	<i>Oscillatoria tenuis</i>		+						
螺旋藻	<i>Spirulina sp.</i>			+					
阿氏拟鱼腥藻	<i>Anabaenopsis arnoldii</i>				+				
硅藻门	Bacillariophyta								
梅尼小环藻	<i>Cyclotella meneghiniana</i>					+			+
条纹小环藻	<i>Cyclotella striata</i>	+	+				+	+	
星肋小环藻	<i>Cyclotella asterocostata</i>					+			
牟氏角毛藻	<i>Chaetoceros muelleri</i>	+		+	+	+	+		+
短小舟形藻	<i>Navicula exigua</i>	+		+				+	
大羽纹藻	<i>Pinnularia major</i>					+			
翼茧形藻	<i>Amphiprora alata</i>					+			
小桥弯藻	<i>Cymbella laevis</i>				+				
扁圆卵形藻	<i>Cocconeis placentula</i>		+						
谷皮菱形藻	<i>Nitzschia palea</i>							+	

续表

池生菱形藻	<i>Nitzschia stagnorum</i>				+	+		
长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>			+				
尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			+				
曲舟藻	<i>Pleurosigma</i> sp.						+	
金藻门	Chrysophyta							
变形色金藻	<i>Chromulina pascheri</i>	+	+	+			+	+
变形棕鞭藻	<i>Ochromonas mutabilis</i>			+				
甲藻门	Pyrrophyta							
光甲藻	<i>Glenodinium gymnodinium</i>			+	+			
裸甲藻	<i>Gymnodinium aeruginosum</i>				+			
椭圆形甲藻	<i>Peridinium umbonatum</i>			+				
原多甲藻	<i>Protoperidinium</i> sp.			+	+		+	+
隐藻门	Cryptophyta							
卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>							+
啮蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa</i>				+			
尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>			+	+		+	
裸藻门	Euglenophyta							
绿色裸藻	<i>Euglena viridis</i>					+		
鱼形裸藻	<i>Euglena pisciformis</i>							+
矩圆囊裸藻	<i>Trachelomonas oblonga</i>			+				
绿藻门	Chlorophyta							
球衣藻	<i>Chlamydomonas globosa</i>			+				
椭圆扁藻	<i>Tetraselmis elliptica</i>			+				
椭圆小球藻	<i>Chlorella ellipsoidea</i>			+				
蛋白核小球藻	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	+	+	+	+	+	+	+
扭曲蹄形藻	<i>Kirchneriella contorta</i>			+	+			
针形纤维藻	<i>Ankistrodesmus acicularis</i>							+
硬弓形藻	<i>Schroederia robusta</i>				+			
波吉卵囊藻	<i>Oocystis borgei</i>	+	+	+	+		+	
十字藻	<i>Crucigenia apiculata</i>							+

3.2.2. 浮游植物密度时空变化

两次调查浮游植物密度随时空的变化如图 2 所示。第一次调查期间(养殖中期) 5 个池塘浮游植物平均密度为 2.10×10^8 ind./L, 1 号池塘(对虾无地膜) 5.93×10^8 ind./L, 以蓝藻和硅藻为主; 2 号池塘(对虾有地膜) 0.46×10^8 ind./L, 以蓝藻和甲藻为主; 3 号池塘(鱼虾混养) 0.62×10^8 ind./L, 以蓝藻和硅藻为主; 4 号池塘(鱼虾混养) 2.04×10^8 ind./L, 以蓝藻和硅藻为主; 5 号池塘(纯养鱼) 1.44×10^8 ind./L, 以硅藻为主。第二次调查期间(养殖后期) 3 个池塘浮游植物平均密度为 3.2×10^7 ind./L, 1 号池塘(对虾无地膜)为 6.40×10^7 ind./L, 以绿藻和硅藻为主; 3 号池塘(鱼虾混养)为 1.02×10^7 ind./L, 以绿藻、蓝藻和甲藻为主; 4 号池塘(鱼虾混养)为 2.05×10^7 ind./L, 以蓝藻和绿藻为主。

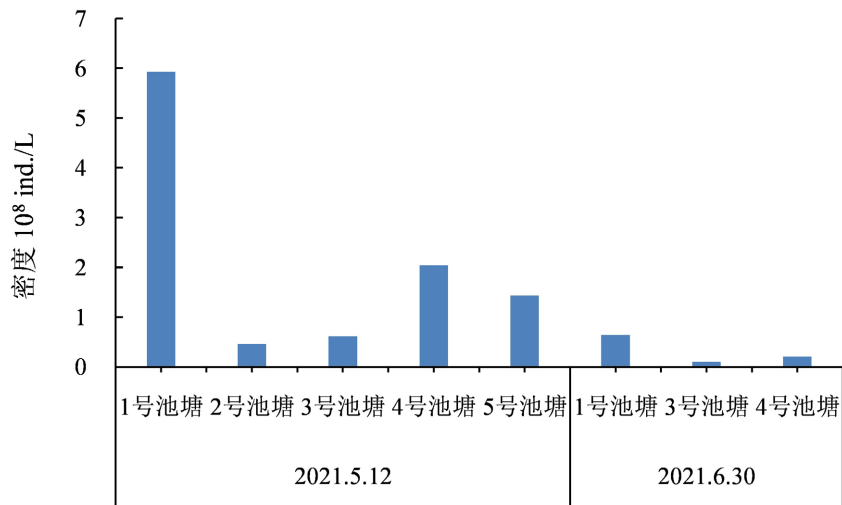


Figure 2. The seasonal dynamics of phytoplankton density in different aquaculture pond models

图 2. 不同养殖池塘模式浮游植物密度的季节动态

3.2.3. 浮游植物生物量时空变化

两次调查浮游植物生物量的时空变化如图 3 所示。第一次调查期间(养殖中期), 5 个池塘浮游植物平均生物量为 38.87 mg/L, 1 号池塘(对虾无地膜) 3.44 mg/L, 主要以硅藻和蓝藻; 2 号池塘(对虾有地膜) 59.45 mg/L, 主要以蓝藻和甲藻; 3 号池塘(鱼虾混养) 55.81 mg/L, 主要以硅藻和甲藻; 4 号池塘(鱼虾混养) 29.19 mg/L, 主要以硅藻和蓝藻; 5 号池塘(纯养鱼) 46.48 mg/L, 主要以硅藻和绿藻。第二次调查期间(养殖后期), 3 个池塘浮游植物平均生物量为 8.07 mg/L, 1 号池塘(对虾无地膜)为 2.00 mg/L, 主要为硅藻; 3 号池塘(鱼虾混养)为 10.02 mg/L, 主要为硅藻和绿藻; 4 号池塘(鱼虾混养)为 12.20 mg/L, 主要为蓝藻和裸藻。

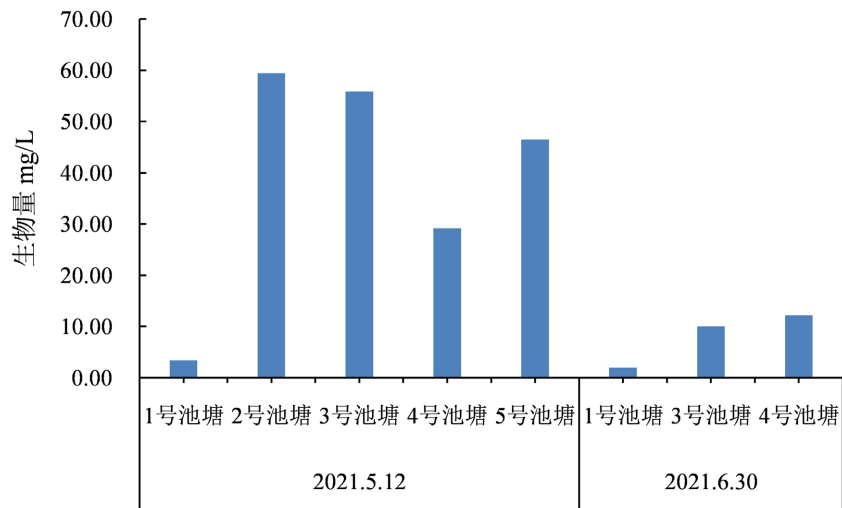


Figure 3. The seasonal dynamics of phytoplankton biomass in different aquaculture pond models

图 3. 不同养殖池塘模式下浮游植物生物量的季节动态

3.2.4. 浮游植物的多样性指数与均匀度指数的时空变化

两次调查浮游植物的多样性指数与均匀度指数的时空变化如图 4 所示。第一次调查期间(养殖中期),

5个池塘浮游植物平均多样性指数和均匀度指数分别为1.66和0.41,其中3号池塘(鱼虾混养)多样性指数和均匀度指数最高,分别为3.09和0.69,1号池塘(对虾无地膜)多样性指数和均匀度指数最低,分别为0.20和0.07。第二次调查期间(养殖后期),3个池塘浮游植物平均多样性指数和均匀度指数分别为1.68和0.54,4号池塘(鱼虾混养)多样性指数和均匀度指数最高,分别为2.91和0.84,1号池塘(对虾无地膜)多样性指数和均匀度指数最低,分别为0.37和0.18。

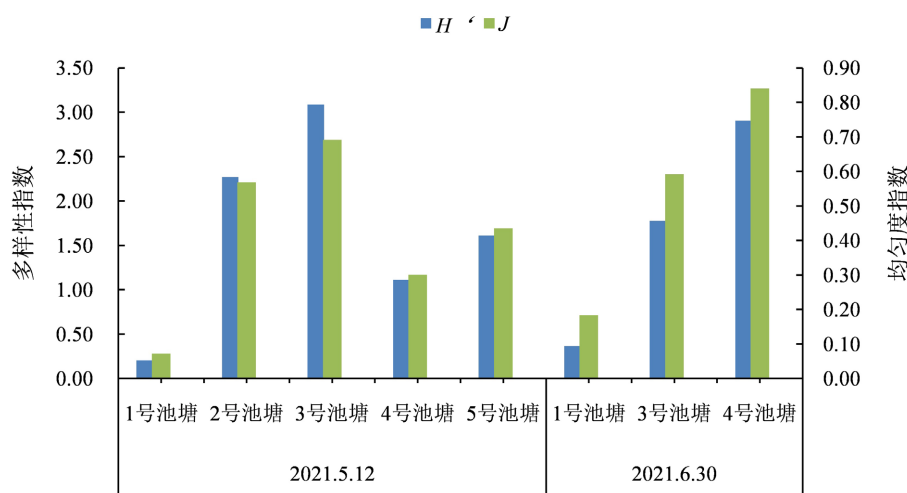


Figure 4. Seasonal dynamics of diversity index and evenness index of phytoplankton in different aquaculture pond models

图 4. 不同养殖池塘模式浮游植物多样性指数和均匀度指数的季节动态

3.2.5. 浮游植物优势种及优势度

池塘浮游植物优势种如表5所示。第一次调查期间(养殖中期),1号池塘(对虾无地膜)优势种为蓝藻1种;2号池塘(对虾有地膜)优势种为蓝藻1种,绿藻3种;3号池塘(鱼虾混养)优势种为蓝藻2种,硅藻和绿藻各1种;4号池塘(鱼虾混养)优势种为蓝藻和硅藻各1种,5号池塘(纯养鱼)优势种为绿藻1种。第二次调查期间(养殖后期),1号池塘(对虾无地膜)优势种为硅藻和绿藻各1种;3号池塘(鱼虾混养)优势种为蓝藻1种,甲藻1种和绿藻2种;4号池塘(鱼虾混养)优势种为蓝藻2种,硅藻、金藻和绿藻各1种。

Table 5. Dominance of phytoplankton in different aquaculture pond models

表 5. 不同养殖池塘模式中浮游植物的优势度

采样时间	池塘	优势种($Y > 0.02$)
2021.5.12	1号池塘	点状粘球藻 <i>Gloeocapsa punctata</i> (蓝藻门)
		小细鞘丝藻 <i>Leptolyngbya tenuis</i> (蓝藻门)
	2号池塘	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门)
		波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i> (绿藻门)
		游丝藻 <i>Planctonema lauterbornii</i> (绿藻门)
	3号池塘	细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i> (蓝藻门)
		链状伪鱼腥藻 <i>Pseudanabaena catenata</i> (蓝藻门)
		牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (硅藻门)
		蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门)
	4号池塘	阿氏拟鱼腥藻 <i>Anabaenopsis arnoldii</i> (蓝藻门)
		牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (硅藻门)
	5号池塘	蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门)

续表

2021.6.30	1 号池塘	牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (硅藻门) 蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门)
	3 号池塘	小细鞘丝藻 <i>Leptolyngbya tenuis</i> (蓝藻门) 原多甲藻 <i>Protoperdinium</i> (甲藻门) 蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门) 波吉卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i> (绿藻门)
	4 号池塘	小型色球藻 <i>Chroococcus minor</i> (蓝藻门) 小细鞘丝藻 <i>Leptolyngbya tenuis</i> (蓝藻门) 牟氏角毛藻 <i>Chaetoceros muelleri</i> (硅藻门) 变形色金藻 <i>Chromulina pascheri</i> (金藻门) 蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (绿藻门)

3.3. 多种养殖模式池塘的浮游动物群落结构

3.3.1. 浮游动物组成及其分布

多种养殖模式池塘浮游动物种类组成及其分布如表 6 所示。第一次调查期间(养殖中期) 5 个池塘浮游动物共鉴定 43 种, 其中 1 号池塘(对虾无地膜) 18 种, 2 号池塘(对虾有地膜) 25 种, 3 号池塘(鱼虾混养) 17 种, 4 号池塘(鱼虾混养) 12 种, 5 号池塘(纯养鱼) 16 种。第二次调查期间(养殖后期) 3 个池塘共鉴定 30 种, 其中 1 号池塘(对虾无地膜) 15 种, 3 号池塘(鱼虾混养) 20 种, 4 号池塘(鱼虾混养) 16 种。

Table 6. Species composition and distributions of zooplankton in different aquaculture pond models

表 6. 不同养殖池塘模式浮游动物的种类组成及分布

种类	拉丁文	2021.5.12					2021.6.30			
		1 号池塘	2 号池塘	3 号池塘	4 号池塘	5 号池塘	1 号池塘	3 号池塘	4 号池塘	
原生动物	Protozoa									
普通表壳虫	<i>Arcella vulgaris</i>	+	+	+	+	+				
团焰毛虫	<i>Askenasia volvox</i>	+					+		+	
小单环带毛虫	<i>Didinium balbianii nanum</i>		+	+	+		+	+	+	
双环带毛虫	<i>Didinium nasutum</i>		+		+					
蚤累枝虫	<i>Epistylis daphniae</i>	+	+		+			+	+	
阔口游仆虫	<i>Euplotes eurytomus</i>		+				+	+		
大弹跳虫	<i>Halteria grandinella</i>			+				+	+	
钝漫游虫	<i>Litonotus obtusus</i>			+			+	+		
片状漫游虫	<i>Litonotus fasciola</i>						+		+	
旋回侠盗虫	<i>Strobilidium gyrans</i>		+					+		
绿急游虫	<i>Strombidium viride</i>						+			
具沟急游虫	<i>Strombidium sulcatum</i>		+							
中华拟铃壳虫	<i>Tintinnopsis sinensis</i>						+			
钟形钟虫	<i>Vorticella campanula</i>	+	+	+	+		+	+	+	
毛板壳虫	<i>Coleps hirtus</i>		+				+			

续表

珍珠映毛虫	<i>Cinetochilum margaritaceum</i>								+
绿色前管虫	<i>Prorodon virides</i>		+				+		
结节壳吸管虫	<i>Acineta tuberosa</i>		+						
长柄球吸管虫	<i>Metacineta macrocaulis</i>								+
车轮虫	<i>Trichodina</i> sp.		+						
暗尾丝虫	<i>Uronema nigricans</i>				+	+			
伪尖毛虫	<i>Oxytricha fallax</i>								+
蚤中缢虫	<i>Mesodinium pulex</i>		+						
放射矛刺虫	<i>Hastatella radians</i>		+						
钟形网纹虫	<i>Favella campanula</i>							+	+
小偏体虫	<i>Dysteria pusilla</i>								+
钵居靴纤虫	<i>Cothurnia ceramicola</i>	+							
轮虫	Rotifera								
海轮虫	<i>Seison</i> sp.	+							
褶皱臂尾轮虫	<i>Brachionus plicatilis</i>	+	+	+	+	+		+	+
独角聚花轮虫	<i>Conochilus unicornis</i>		+	+					
叉角聚花轮虫	<i>Conochilus dossuarius</i>		+						
爱德里亚狭甲轮虫	<i>Colurella adriatica</i>		+	+	+				+
钩状狭甲轮虫	<i>Colurella uncinata</i>	+	+						
转轮虫	<i>Rotaria rotatoria</i>		+						
简单前翼轮虫	<i>Proales simplex</i>	+	+	+	+	+			+
尖尾疣毛轮虫	<i>Synchaeta stylata</i>	+	+	+				+	+
小巨头轮虫	<i>Cephalodella exigna</i>	+	+	+	+	+		+	+
桡足类	Copepoda								
猛水蚤	<i>Harpacticoida</i> spp.	+				+	+	+	+
无节幼体	Nauplius	+	+	+	+	+	+	+	+
哲水蚤桡足幼体	Copepodid of Calanoida	+			+			+	+
安氏伪镖水蚤	<i>Pseudodiaptomus annandalei</i>	+			+			+	+
火腿伪镖水蚤	<i>Pseudodiaptomus ppolesia</i>							+	
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	+						+	+
克氏纺锤水蚤	<i>Acartia clausi</i>				+		+	+	+
拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>						+		
兼性浮游动物	Parthenogenic zooplankton								

续表

摇蚊幼虫	Chironomidae								+
腺介幼虫	cypris larva								+ +
涡虫	<i>Dugesia</i> sp.	+							
线虫	<i>Nematoda</i>				+			+	
壳顶幼虫	umbo-veliger								+ +
担轮幼虫	trochophore larva	+	+						
六肢幼虫	hexapod larva								+

3.3.2. 浮游动物密度的时空变化

两次调查浮游动物密度的季节变化如图 5 所示。第一次调查期间(养殖中期) 5 个池塘浮游动物平均密度为 2.35×10^4 ind./L, 其中 1 号池塘(对虾无地膜) 5×10^2 ind./L, 主要为原生动物和桡足类; 2 号池塘(对虾有地膜)、3 号池塘(鱼虾混养)和 4 号池塘(鱼虾混养)密度分别为 1.49×10^4 ind./L、 5.38×10^4 ind./L 和 4.72×10^4 ind./L, 主要为原生动物和轮虫; 5 号池塘(纯养鱼)为 1.20×10^3 ind./L, 主要为桡足类、轮虫和原生动物。第二次调查期间(养殖后期) 3 个池塘浮游植物平均密度为 9.14×10^2 ind./L, 1 号池塘(对虾无地膜)为 1.28×10^3 ind./L, 主要为原生动物和桡足类; 3 号池塘(鱼虾混养)和 4 号池塘(鱼虾混养)分别为 6.70×10^2 ind./L 和 7.92×10^2 ind./L, 主要为原生动物和轮虫。

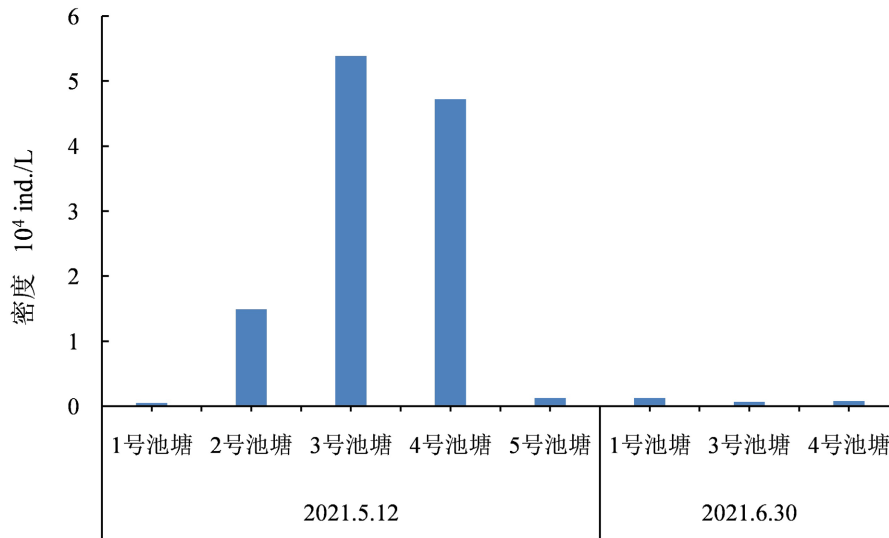


Figure 5. The seasonal dynamics of zooplankton density in different aquaculture pond models
图 5. 不同养殖池塘模式浮游动物密度的季节动态

3.3.3. 浮游动物生物量的时空变化

两次调查游动物生物量的季节变化如图 6 所示。第一次调查期间(养殖中期) 5 个池塘浮游动物平均生物量为 12.23 mg/L, 其中 1 号池塘(对虾无地膜) 2.09 mg/L, 主要为桡足类和兼性浮游动物; 2 号池塘(对虾有地膜)、3 号池塘(鱼虾混养)和 4 号池塘(鱼虾混养)生物量分别为 1.16 mg/L、43.96 mg/L 和 4.74 mg/L, 主要为原生动物和轮虫; 5 号池塘(纯养鱼)为 9.20 mg/L, 主要为桡足类。第二次调查期间(养殖后期), 3 个池塘浮游动物平均生物量为 12.75 mg/L, 1 号池塘(对虾无地膜)为 34.72 mg/L, 主要为桡足类和原生动物; 3 号池塘(鱼虾混养)和 4 号池塘(鱼虾混养)分别为 0.99 mg/L 和 2.54 mg/L, 主要为桡足类。

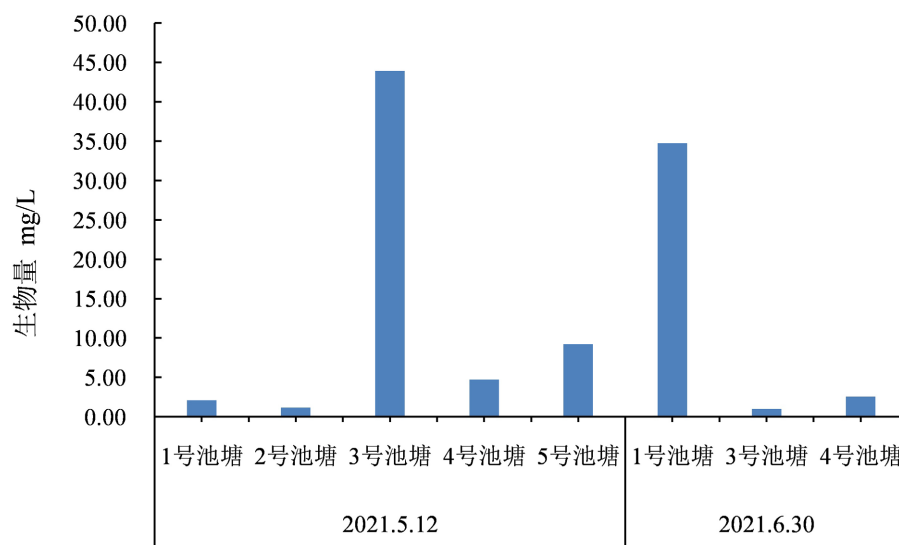


Figure 6. The seasonal dynamics of zooplankton biomass in different aquaculture pond models
图 6. 不同养殖池塘模式下浮游动物生物量的季节动态

3.3.4. 浮游动物多样性指数与均匀度指数的时空变化

两次调查浮游动物多样性指数与均匀度指数的季节变化如图 7 所示。第一次调查期间(养殖中期), 5 个池塘浮游动物平均多样性指数和均匀度指数分别为 1.99 和 0.43, 其中 1 号池塘(对虾无地膜)多样性指数和均匀度指数最高分别为 3.05 和 0.65, 3 号池塘(鱼虾混养)多样性指数和均匀度指数最高分别为最低为 0.74 和 0.08。第二次调查期间(养殖后期), 3 个池塘浮游动物平均多样性指数和均匀度指数分别为 3.00 和 0.74, 1 号池塘(对虾无地膜)多样性指数和均匀度指数最高分别为 3.38 和 0.87, 3 号池塘(鱼虾混养)多样性指数和均匀度指数最低分别为 2.71 和 0.63。

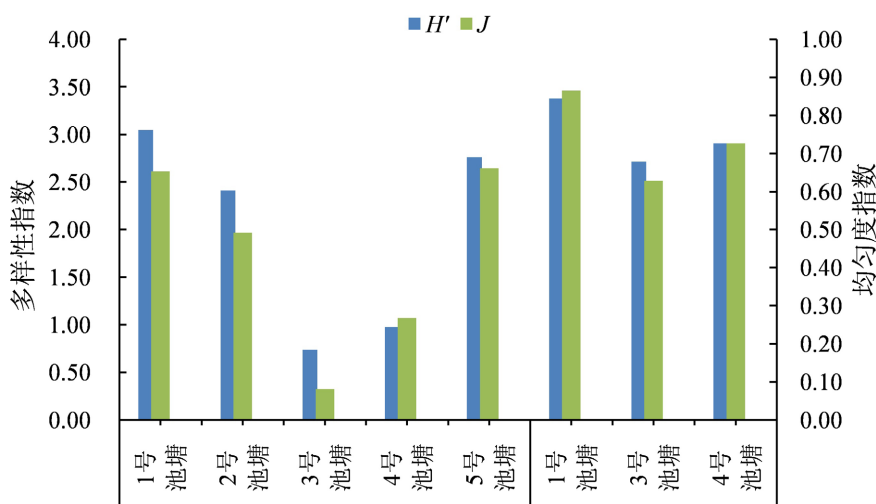


Figure 7. Seasonal variation of diversity index and evenness index of zooplankton in different aquaculture pond models

图 7. 不同养殖池塘模式浮游动物多样性指数和均匀度指数的季节变化

3.3.5. 浮游动物优势种及优势度

池塘浮游动物优势种如表 7 所示, 第一次调查期间(养殖中期), 1 号池塘(对虾无地膜)原生动物 3 种,

轮虫 1 种, 桡足类 2 种。2 号池塘(对虾有地膜)原生动物 3 种, 轮虫 3 种。3 号池塘(鱼虾混养)和 4 号池塘(鱼虾混养)原生动物和轮虫均各 1 种。5 号池塘(纯养鱼)原生动物、轮虫和桡足类各 2 种。第二次调查期间(养殖后期), 1 号池塘(对虾无地膜)原生动物 3 种, 桡足类 2 种, 兼性浮游动物 1 种。3 号池塘(鱼虾混养)原生动物 1 种, 轮虫 2 种, 桡足类 1 种。4 号池塘(鱼虾混养)原生动物 1 种, 轮虫 3 种, 桡足类 1 种。

Table 7. Dominance of some zooplankton in different aquaculture pond models

表 7. 不同养殖池塘模式中浮游动物的优势度

采样时间	池塘	优势种($Y > 0.02$)
2021.5.12	1 号池塘	普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i> (原生动物) 团焰毛虫 <i>Askenasia volvox</i> (原生动物) 钟形钟虫 <i>Vorticella campanula</i> (原生动物) 小巨头轮虫 <i>Cephalodella exigna</i> (轮虫) 无节幼体 <i>Nauplius</i> (桡足类) 哲水蚤桡足幼体 Copepodid of Calanoida (桡足类)
	2 号池塘	普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i> (原生动物) 溞累枝虫 <i>Epistylis daphniae</i> (原生动物) 钟形钟虫 <i>Vorticella campanula</i> (原生动物) 褶皱臂尾轮虫 <i>Brachionus plicatilis</i> (轮虫) 简单前翼轮虫 <i>Proales simplex</i> (轮虫) 小巨头轮虫 <i>Cephalodella exigna</i> (轮虫)
	3 号池塘	普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i> (原生动物) 尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i> (轮虫)
	4 号池塘	双环栉毛虫 <i>Didinium nasutum</i> (原生动物) 简单前翼轮虫 <i>Proales simplex</i> (轮虫)
	5 号池塘	普通表壳虫 <i>Arcella vulgaris</i> (原生动物) 阔口游仆虫 <i>Euplotes eurystomus</i> (原生动物) 褶皱臂尾轮虫 <i>Brachionus plicatilis</i> (轮虫) 简单前翼轮虫 <i>Proales simplex</i> (轮虫) 猛水蚤 <i>Harpacticoida</i> spp. (桡足类) 无节幼体 <i>Nauplius</i> (桡足类)
2021.6.30	1 号池塘	团焰毛虫 <i>Askenasia volvox</i> (原生动物) 绿急游虫 <i>Strombidium viride</i> (原生动物) 毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i> (原生动物) 无节幼体 <i>Nauplius</i> (桡足类) 哲水蚤桡足幼体 Copepodid of Calanoida (桡足类) 壳顶幼虫 umbo-veliger (兼性浮游动物)
	3 号池塘	旋回侠盗虫 <i>Strobilidium gyrans</i> (原生动物) 褶皱臂尾轮虫 <i>Brachionus plicatilis</i> (轮虫) 尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i> (轮虫) 无节幼体 <i>Nauplius</i> (桡足类)
	4 号池塘	团焰毛虫 <i>Askenasia volvox</i> (原生动物) 褶皱臂尾轮虫 <i>Brachionus plicatilis</i> (轮虫) 尖尾疣毛轮虫 <i>Synchaeta stylata</i> (轮虫) 小巨头轮虫 <i>Cephalodella exigna</i> (轮虫) 哲水蚤桡足幼体 Copepodid of Calanoida (桡足类)

4. 讨论

4.1. 四种养殖模式池塘水质理化特征及浮游生物群落结构的比较

4.1.1. 池塘水质理化特征

调查期间, 两种对虾养殖模式比较, 1 号池塘无地膜对虾养殖模式呈现透明度高、温度高、pH 高、溶氧高、氨氮低、硝酸氮低、亚硝酸氮低、硝酸氮和有效磷低的特点, 而 2 号池塘有地膜对虾养殖模式则与此相反, 呈现透明度低、温度低、pH 低、溶氧低, 并且三氮一磷显著增高的特点。高位池有地膜的对虾精养模式, 在有限空间内进行相对的高密度养殖, 是造成水体溶氧低、三氮一磷高的主要原因。

鱼虾混养模式比较, 4 号池塘理化指标则均低于 3 号池塘, 调查期间两个池塘 pH 呈现高水平状态, 这主要是 OH^- 的浓度远大于 H^+ 的浓度, 故池塘碱性不断增强, 这对于混养模式下的鱼虾会产生一定强度的胁迫, 分析的主要原因有: 1) 水体硬度和碱度不够; 2) 新水中的藻类还没有繁殖起来, 水质还不稳定, 池塘中腐殖质不足; 3) 富含蓝绿藻的水由于光合作用强烈, pH 有时会达到 9.5 以上; 4) 水质受到碱性物质的污染。

纯养鱼模式与其他模式相比, 呈现透明度高、溶氧高、温度低、pH 低和三氮一磷低的特点, 主要原因是空间充足, 水深适宜, 基础饵料充足, 富营养化程度低, 光合作用利用效率高。

综合比较各种养殖模式, 有地膜对虾养殖模式 pH、溶氧和水温控制得当, 三氮一磷处于高水平, 应进一步采取措施控制氮磷。

4.1.2. 池塘浮游植物群落结构

调查期间, 四种养殖模式池塘的浮游植物在种类上均以咸淡水种类为主, 这与多种模式所处低盐度的养殖环境有关。四种养殖模式池塘中浮游植物特征彼此之间存在差异, 养殖中期和养殖后期也存在着一定的群落结构变化。

调查期间, 两种对虾养殖模式比较, 养殖中期, 1 号无地膜对虾养殖模式池塘浮游植物在种类组成、密度和生物量中蓝藻和硅藻占据绝对优势, 浮游植物多样性和均匀性偏低, 养殖后期, 浮游植物在种类和数量上以硅藻和绿藻为主, 浮游植物多样性和均匀性均有所升高; 而 2 号有地膜对虾养殖模式池塘养殖中期, 浮游植物在种类组成上以蓝藻为主, 在密度和生物量上以蓝藻和甲藻占据绝对优势, 浮游植物多样性和均匀性处于中高水平。在同一养殖期间内, 无地膜对虾池塘养殖模式较有地膜对虾养殖模式存在更多优质饵料硅藻占比, 这从侧面反映前者饵料基础优于后者, 但后者多样性和均匀性优于前者, 这说明有地膜对虾养殖模式具有更高的水体稳态能力, 在水体波动程度较大时能保持一定的生态平衡。

鱼虾混养模式比较, 养殖中期, 该模式池塘浮游植物种类组成以绿藻、蓝藻和硅藻为主, 密度以蓝藻和硅藻为主, 生物量主要以硅藻为主, 3 号池塘浮游植物多样性和均匀性高于 4 号池塘; 养殖后期, 浮游植物种类组成以硅藻或蓝藻为主, 密度以蓝藻和绿藻为主, 生物量以硅藻和绿藻为主, 4 号池塘浮游植物多样性和均匀性高于 3 号池塘。在养殖周期内, 鱼虾混养模式具有趋同特性, 如种类和数量上表现出的一致性, 以及多样性和均匀性的趋异变化, 导致这些趋势的原因可能与池塘底质以及地理因素差异有关。

纯养鱼模式与其他模式相比, 养殖中期, 浮游植物种类组成、密度和生物量中硅藻占据绝对优势, 多样性和均匀性处于中等水平; 浮游动物种类组成和密度均以桡足类和轮虫为主, 生物量则以桡足类为主, 多样性和均匀性处于较高水平。与同一养殖期间的其他养殖模式相比, 优质饵料如硅藻和绿藻占据绝对优势, 这与金鲳的杂食偏肉食性的食性密不可分, 此外空间结构及基础饵料也是重要影响因素。

综合比较各种养殖模式, 养殖中期, 无地膜对虾养殖模式、有地膜对虾养殖模式和鱼虾混养模式蓝藻均占据优势种, 而纯养鱼模式则没有蓝藻作为优势种, 这一方面说明 3 种养殖模式池塘富营养化程度

深,可能存在着水华爆发的可能,应引起重视,另一方面说明纯养鱼模式的饵料基础好,这些与水质情况和浮游植物群落结构中的种类和数量的趋势相一致。

4.1.3. 池塘浮游动物群落结构

调查期间,四种养殖模式池塘的浮游动物在种类上均以盐水种类为主,这与多种模式所处低盐度的养殖环境有关,同时也显示出,盐水池塘中淡水浮游动物中某些种类对于盐度的耐受性低于浮游植物。四种养殖模式池塘种浮游动物特征彼此之间存在一些差异,养殖中期和养殖后期也存在着一一定的浮游动物群落结构变化。

调查期间,两种对虾养殖模式比较,1号无地膜对虾养殖模式池塘浮游动物多样性和均匀性处于中高水平,养殖中期,浮游动物在种类组成以轮虫、原生动物和桡足类为主,密度和生物量以桡足类和原生动物为主,养殖后期,浮游动物在种类和数量上以原生动物和桡足类为主,浮游动物多样性和均匀性不断升高;而2号有地膜对虾养殖模式池塘养殖中期,浮游动物在种类组成、密度和生物量中原生动物和轮虫占据绝对优势,浮游动物多样性高而均匀性低。在同一养殖期间内,无地膜对虾池塘养殖模式的多样性和均匀性均大于有地膜对虾养殖模式,这反映了一定的生态稳定性,后者原生动物和轮虫占据绝对优势也说明了后者生态稳定性低,浮游动物小型化严重,这可能导致池塘富营养化加剧。

鱼虾混养模式比较,养殖中期,该模式池塘浮游动物种类组成、密度和生物量均以原生动物和轮虫为主,浮游动物多样性和均匀性偏低。养殖后期,浮游动物种类组成上以原生动物和桡足类为主,密度则以原生动物和轮虫为主,生物量以桡足类为主,浮游动物多样性和均匀性升高。在养殖周期内,鱼虾混养模式具有趋同特性,如种类和数量上表现出的一致性,以及多样性和均匀性的趋异变化,导致这些趋势的原因可能与对虾和金鲷的共同摄食有关,此外养殖后期捕捞也会导致这一现象的发生。

纯养鱼模式与其他模式相比,养殖中期,浮游动物种类组成和密度均以桡足类和轮虫为主,生物量则以桡足类为主,多样性和均匀性处于较高水平。与同一养殖期间的其他养殖模式相比,生态稳定程度优于其他模式,浮游动物小型化程度低,潜在富营养化程度低。

综合比较各种养殖模式,养殖前期和后期,浮游动物优势种中原生动物和轮虫占绝对优势,这表明浮游动物普遍存在小型化,这与浮游植物蓝藻等有害藻类居多趋势一致,这说明其存在潜在的富营养化趋势。其中无地膜对虾养殖模式池塘和纯养鱼模式池塘,桡足类占据一定优势,说明该模式下池塘生态稳定性较好。

4.2. 养殖管理措施与建议

4.2.1. 水质调控

高位池有地膜的对虾精养模式,在有限空间内进行相对的高密度养殖,是造成水体溶氧低、三氮一磷高的主要原因,在实时监测水质变化的基础上应合理增加溶氧效率,并且依据天气和对虾生理状态采用微生态制剂进行改底,进而满足正常的生长发育需要。对于 pH 高的对虾无地膜养殖池塘和鱼虾混养池塘,日常管理时不要用生石灰清塘或消毒,降低 pH 值可采取以下措施:1) 大量换水(淡水);2) 投放酸性物质(腐殖酸、工业浓盐酸等);3) 降低光合作用强度,增加有益活菌;4) 减少浮游植物的密度,或者铺设遮阳网[9]。鱼虾混养模式充分利用了水体空间,但也随之增加了残饵和代谢产物,因此水体中三氮一磷处于中等水平,应考虑进一步改底、增氧以及增强池塘代谢循环效率。

4.2.2. 蓝藻等有害藻控制

蓝藻已经在无地膜对虾养殖模式、有地膜的对虾养殖模式以及鱼虾混养模式中占据很大优势,其潜在的水华风险不容忽视。常用的方法有化学法,如杀藻剂或絮凝剂,该方法具有高效、毒性较小或无毒、

无污染、无腐蚀，成本低，生产及运输安全和投药方便等优点，但化学方法会造成二次污染，同时会对池塘产生不良影响，应结合池塘环境合理使用；另一种方法是物理法，过滤-局部湖区的机械捞藻等，但物理方法治理蓝藻存在不彻底，可能会导致越治越多的现象；此外还有生物间相互作用法，如栽植一些耐盐性大型水生植物，利用植物间的化感作用和克藻效应，同时大型水生植物可为鱼虾提供遮阴场所 [25] [26]。

4.2.3. 减轻浮游动物小型化

浮游动物小型化已经在多种养殖模式池塘中出现，对其调节和监控具有重要意义，防止浮游动物小型化可进行池塘修缮夯实四周泥土入手，因为泥土易浑浊水体，进而损伤大型浮游动物的滤食器官，减少大型浮游动物的生物量。此外，应该进一步增加兼性浮游动物的种类和数量，这可通过改善池塘底质来实现，增加浮游动物不但使池塘内部生态环境得到稳定，也可进一步提供饵料资源。同时优化池塘养殖模式，调节养殖鱼类的种类组成，也可达到减轻浮游动物小型化的目的。

5. 结论

综合比较各种养殖模式，两种对虾养殖模式中有地膜对虾养殖模式 pH、溶氧和水温控制得当，三氮一磷处于高水平，应进一步采取措施控制氮磷；鱼虾混养模式 pH 呈现高水平状态，对鱼虾会产生一定强度的胁迫，应注意加以防范；纯养鱼模式呈现透明度高、溶氧高、温度低、pH 低和三氮一磷低的特点，水体富营养化程度低。

不同养殖模式下浮游植物群落结构存在差异，其中无地膜对虾养殖模式在养殖中期拥有更多优质饵料硅藻，而有地膜对虾养殖模式和鱼虾混养模式在多样性和均匀性方面表现更佳，纯养鱼模式则以硅藻和绿藻为优势种，显示出较好的饵料基础和水质状况。蓝藻在无地膜对虾养殖模式、有地膜的对虾养殖模式以及鱼虾混养模式中占据很大优势，存在潜在的水华风险，应加以防范和控制。

不同养殖模式下浮游动物群落结构存在差异，无地膜对虾养殖模式和纯养鱼模式表现出较高的多样性和均匀性，以及更好的生态稳定性，而有地膜对虾养殖模式和鱼虾混养模式则显示出浮游动物小型化和具有潜在富营养化的趋势，应加以调节和监控。

综上所述，多种池塘养殖模式各有优劣，水质情况和浮游生物群落结构情况复杂。浮游生物群落结构及演替与水体理化因子密切相关，因此，浮游生物种群变化情况可作为水质监测的重要参考依据，并以此为依据评估水体基础饵料情况和富营养化程度，可为多种池塘养殖模式水质安全和可持续优水渔业提供科学依据。

基金项目

广东省重点研发项目“海水池塘生态工程化养殖技术与模式”(2020B0202010009)。

参考文献

- [1] 迟宝兴. 南美白对虾高位池高产稳产养殖技术研究[J]. 齐鲁渔业, 2006, 23(3): 22-24.
- [2] 孙成波, 何建国, 陈锚, 等. 地膜池与水泥边坡沙底池封闭式养殖斑节对虾的研究[J]. 中山大学学报, 2000, 39(z1): 83-85.
- [3] 孙成波, 何建国, 石义学, 等. 地膜池与普通土池封闭式养殖斑节对虾的研究[J]. 中山大学学报, 2000, 39(z1): 80-82.
- [4] 孙成波, 何建国, 吴琴瑟, 等. 地膜养虾模式的建立[J]. 中国水产, 1999(3): 40.
- [5] 李样红, 彭树锋, 周全耀, 等. 卵形鲳鲹深水网箱养殖技术研究[J]. 科学养鱼, 2014(5): 44-45.
- [6] 刘建村, 王桦. 广东省金鲳鱼产业发展及对策探究[J]. 广东蚕业, 2023, 57(7): 107-110.

- [7] 罗实亚, 安远英. 水产养殖信息化技术现状及发展趋势[J]. 河北农业, 2022(7): 38-39.
- [8] 赵文, 杨为东, 魏杰, 等. 刺参池塘养殖生态学及健康养殖理论[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 173-175.
- [9] 俞剑平, 张小蒂. 加快发展我国淡水养殖业是促进农村经济全面发展的重大举措[J]. 中国农村经济, 1999(2): 59-65.
- [10] 余云军. 对虾养殖业的可持续发展研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [11] 杨正勇, 史君英. 我国水产品质量问题的经济学分析[J]. 中国渔业经济研究, 2000(4): 20-21.
- [12] 山世英. 中国水产业的经济分析: 生产、加工、对外贸易[D]: [博士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2006.
- [13] 党晋华, 闫夏璟, 王林芳, 等. 山西汾河上中游流域水域生态系统质量评估[J]. 环境与可持续发展, 2019, 44(3): 78-81.
- [14] 关仁磊, 向斌, 陈兆明, 等. 对虾地膜精养池浮游生物的时空差异[J]. 热带生物学报, 2015, 6(1): 11.
- [15] 郭凯, 赵文, 焉鸿启. 柴河水库浮游生物群落结构的时空格局及其渔产力研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(6): 22-26.
- [16] 谢立民, 林小涛, 许忠能, 等. 不同类型虾池的理化因子及浮游植物群落的调查[J]. 生态科学, 2003, 22(1): 34-37.
- [17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第四版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 赵文. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [19] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [20] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类-系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [21] 胡鸿钧. 中国淡水藻类[M]. 上海: 上海科学出版社, 1980.
- [22] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志节肢动物门甲壳纲淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [23] 沈韞芬. 原生动物学[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [24] 金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛, 等. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [25] 赵文. 养殖水域生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [26] Hosseinkhezri, P., Ghasemi, S., Izadpanahi, G., *et al.* (2014) Ecological Study in Ponds of *Litopenaeus vannamei*. <https://aquadocs.org/handle/1834/14010>